

断熱材の種類が木造建物の壁内湿気分布に及ぼす影響

The Effect of the Types of Insulating Materials on the Hygric Distribution inside the Wall of Wooden Dwellings

正会員 柚本 玲 (お茶の水女子大学) 非会員 堀内 正純 (イーアイ)

正会員 田中 辰明 (お茶の水女子大学)

Lei YUMOTO*¹ Masazumi HORIUHI*² Tatsuaki TANAKA*¹

*¹ Ochanomizu University *² EI, Ltd.

Synopsis: This study's aim is to make clear that the hygric distribution of the two kinds of insulating materials inside the wall of wooden dwellings by transient simulation program-WUFI. At the cold region, the outside of the insulator was the most humidity area in the wall in the winter. On the other hand, at the hot region the outside of the membrane is the most humidity in the summer. The relative humidities of them were lower when to set the wood fiber insulator than the glass fiber insulator. It's important to simulate whether the components are suitable for the objective climate.

はじめに

日本の住宅で高气密、高断熱化が進み、省エネルギーが実現されつつある一方、不適切な設計や施工により、結露やカビ、シックハウス症候群などの問題が生じている。それらのうち壁の内部結露は、特に木造住宅で木材の腐食という深刻な問題となる可能性がある¹⁾。北海道のように結露の懸念が大きい寒冷地では、木造建物に防湿シートが施され、内部結露防止に効果を発揮している。しかし、気象条件の地域差が大きい日本では、ある地域で良い工法でも他の地域ではふさわしくない場合がある。例えば蒸暑地の那覇において防湿シートを施すと、夏季にシート屋外側が高湿度になってしまうという解析結果等により、筆者らは非定常解析の必要性を報告してきた²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾。

本研究では、防湿のためにシートに加えて、吸放湿性が高いため結露防止が期待できるとされる木質繊維系断熱材に着目した。通称次世代省エネルギー基準⁶⁾で区分される各地域において、断熱材の種類及び防湿シートが木造建物壁内湿気性状に与える影響を明らかにすることを目的とし、非定常解析を実施した。

1. 方法

1.1. 非定常解析プログラム

解析は非定常熱湿気同時移動解析プログラムヴェーフィ (WUFI Pro 4.1 for Japan: フラウンホーファー建築物理研究所) を用いた。WUFI は水蒸気及び液水移動、日射および雨の影響を考慮した上で 1次元での非定常熱湿気同時移動を解析できるプログラムである⁷⁾⁸⁾。

表-1 建材物性値

| 種類 | 外装仕上 | 透湿防水層 | 合板 | 防湿シート |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|----------|
| 密度 (kg/m ³) | 230 | 130 | 500 | 130 |
| 空隙率 (m ³ /m ³) | 0.9 | 0.0010 | 0.5000 | 0.0010 |
| 熱容量 (J/kgK) | 920 | 2300 | 1500 | 2300 |
| 熱伝導率 (W/mK) | 0.05 | 2.30 | 0.10 | 2.30 |
| μ (-) | 3.23 | 100.0 | 700.0 | 500000.0 |
| 種類 | 石膏ボード | XPS | GW | WFB |
| 密度 (kg/m ³) | 850 | 40 | 60 | 168 |
| 空隙率 (m ³ /m ³) | 0.6500 | 0.9500 | 0.9500 | 0.8830 |
| 熱容量 (J/kgK) | 850 | 1500 | 850 | 2100 |
| 熱伝導率 (W/mK) | 0.20 | 0.03 | 0.04 | 0.04 |
| μ (-) | 8.3 | 450.0 | 1.3 | 3.3 |

防湿シート: ポリエチレンシート、外装仕上: 珪素カルシウム板
XPS: 押出法ポリスチレンフォーム、GW: 住宅用グラスウール
WFB: 木質繊維系断熱材(ボード)、μ: 水蒸気拡散抵抗係数

表-2 対象地域の温度及び湿度 (平均、最高、最低)

| 気象条件 区分都市 | 温度 () | | | 相対湿度 (%RH) | | |
|--------------|--------|------|-------|------------|-----|----|
| | 平均 | 最高 | 最低 | 平均 | 最高 | 最低 |
| I 旭川市 | 6.9 | 33.3 | -21.7 | 77 | 100 | 16 |
| I 札幌市 | 8.9 | 32.6 | -13.2 | 71 | 100 | 26 |
| II 弘前市 | 9.9 | 33.3 | -11.0 | 76 | 100 | 20 |
| II 盛岡市 | 10.2 | 33.2 | -13.1 | 73 | 100 | 20 |
| III 仙台市 | 12.2 | 32.7 | -6.1 | 70 | 100 | 12 |
| III 長野市 | 11.6 | 34.5 | -9.4 | 73 | 100 | 15 |
| IV 新潟市 | 13.8 | 36.5 | -3.8 | 70 | 100 | 20 |
| IV 金沢市 | 14.3 | 34.3 | -2.4 | 72 | 100 | 19 |
| IV 東京都 | 16.1 | 35.3 | -0.8 | 62 | 100 | 17 |
| V 宮崎市 | 17.4 | 34.8 | -5.8 | 73 | 100 | 17 |
| VI 那覇市 | 22.7 | 32.7 | 10.9 | 75 | 100 | 33 |
| 室内条件 | 平均 | 最高 | 最低 | 平均 | 最高 | 最低 |
| サインカーブ | 24.0 | 28.0 | 20.0 | 45 | 30 | 60 |

* 室内では最高が8月15日に示すように設定した



図-1 壁体モデル

1.2. 構造

表-1に各建材の物性値、図-1に壁体断面構造の解析モデルを示す。木質繊維系断熱材の比較対象として、一般的に充填断熱に用いられる住宅用グラスウールを選択した。住宅省エネルギー基準に合わせてI地区の場合のみ、付加断熱を施す設定とした。充填に木質繊維系断熱材(以下WFB)を用いる場合は、同じ木質繊維系断熱材を付加断熱とし、充填に住宅用グラスウール(以下GW)を用いる場合には押出法ポリスチレンフォーム(以下XPS)を付加断熱として設定した。

壁体は屋外側より、外壁-通気層-透湿防水層-付加断熱(I地区においてのみ)-合板-充填断熱-ポリエチレン製防湿シート(PE)-石膏ボードを想定した。以下防湿シートを設置した場合を”シートあり”、設置しない場合を”シートなし”と呼ぶ。

1.3. 気象条件

表-2に対象地域の平均及び最高、最低の気温及び湿度、室内温湿度設定を示す。対象地域は次世代基準の各地域区分より2都市から3都市を選択した。気象条件は拡張アメダス気象データ標準年⁹⁾を基にWUFI用に変換されたWUFI付属データを用いた。室内温湿度は2月15日に最低20°C・40%RH、8月15日に最高28°C・60%RHを示すサインカーブとなるよう設定した。

1.4. その他の条件

分析開始時の湿度は、各地域の平均湿度に対する典型的な建材の含水率(プログラム搭載データ)を、また湿度は各地域の平均温度を与えた。分析は経年の水分蓄積を確認するために条件が厳しい冬季にむかう10月1日から3年分実施した。建物の向きは南向き、10mまでの高さの戸建て建物を想定した。

2. 結果および考察

2.1. 含水率

含水率が経年上昇すると水分蓄積の可能性があるとして不適切であると判断できるが、本結果ではすべての条件で水分の蓄積は見られなかった。

2.2. 湿気分布

図-2、図-3に旭川市、那覇市における壁体断面湿気分布を示す。実線は解析最後のデータ(3年目10月1日0:00時点)、網掛けは解析期間中の履歴を示す。寒冷地の旭川市では温度差の大きい充填断熱と合板の境界が高湿度になることが分かった。I地区(旭川市、札幌市)II地区(弘前市、盛岡市)III地区(仙台市、長野市)及びIV地区の新潟市、金沢市の計8都市で同様の傾向であった。一方那覇市の場合は、逆に湿気が遮られる防湿シート屋外側が最も高湿度になり、宮崎市、東京都でも同様の傾向を示した。

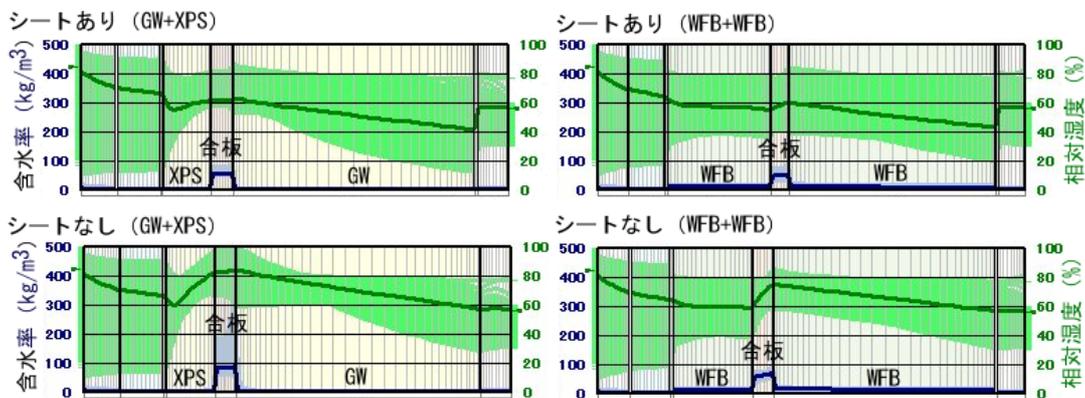


図-2 壁体断面湿気分布(旭川:I地区)

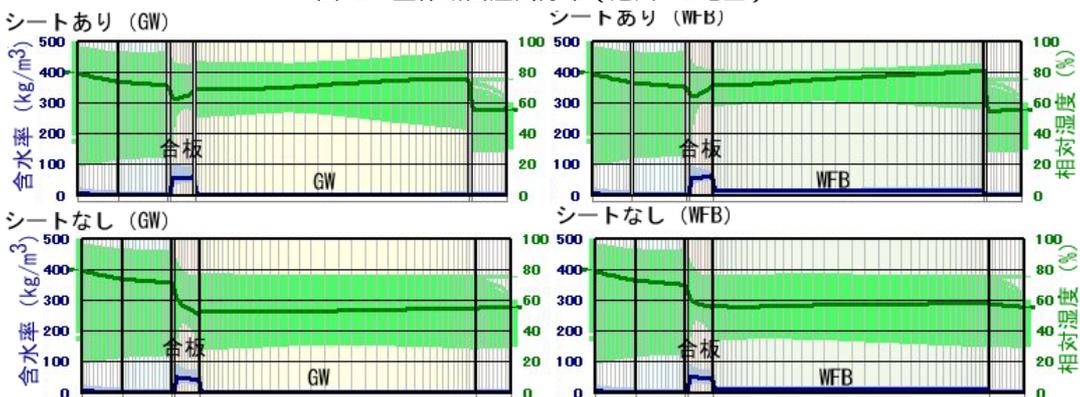


図-3 壁体断面湿気分布(那覇:VI地区)

2.3. 相対湿度

旭川市、札幌市（ともにI地区）、弘前市（II地区）、仙台市、長野市（III地区）、新潟市（IV地区）の解析3年目の相対湿度変化を図-4から図-10に示す。盛岡市は弘前市と、金沢市は新潟市と同様の傾向を示した。図に示す都市においてグラスウール充填断熱（I地区はXPS付加断熱）でシートなしの場合、冬季に80%RH以上の高湿度を示した。防湿シートを設置するとどちらの断熱材でも冬季の高湿度が改善され、シートの防湿効果が認められた。また、シートなしで断熱材を木質繊維系に変えると、冬季の湿度が低くなった。中でも札幌市、仙台市、新潟市、金沢市では80%RH以下に維持された。この理由は、木質系断熱材がグラスウールに比較して湿気を通しにくいいため、室内から壁に入った湿気のうち湿気のたまりやすい断熱材と合板の境界に達する湿気が少なくなるためであると考えられる。しかし改善が認められるとはいえ、80%RHに近い高い湿度を示しているため、室内条件等によっては80%RHを超える可能性があることを考慮しなければならない。

一方、蒸暑地那覇市、宮崎市における相対湿度変化を図-11、図-12に示す。那覇市ではどちらの断熱材でも、シート屋外側で夏季に80%RH以上の高湿度であったが、東京都ではどちらの断熱材も80%RH以下であった。

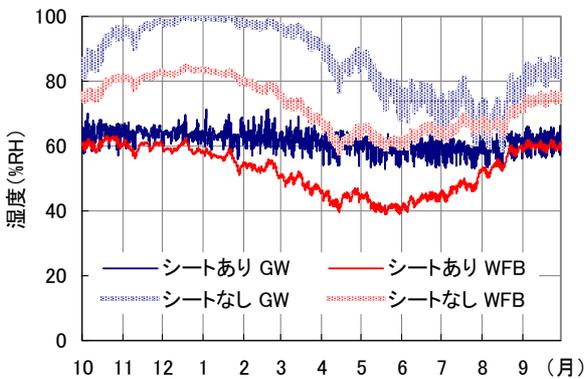


図-4 断熱材屋外側の相対湿度変化（旭川：I地区）

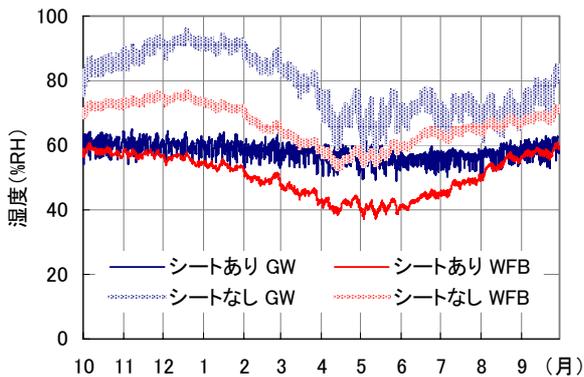


図-5 断熱材屋外側の相対湿度変化（札幌：I地区）

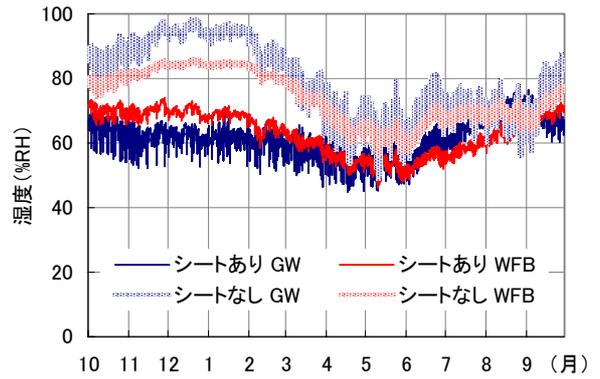


図-6 断熱材屋外側の相対湿度変化（II地区：弘前）

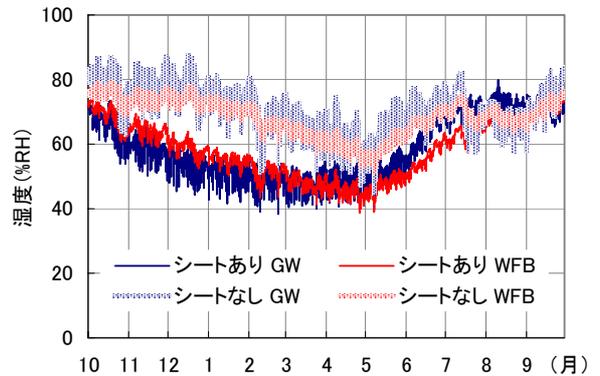


図-7 断熱材屋外側の相対湿度変化（仙台：III地区）

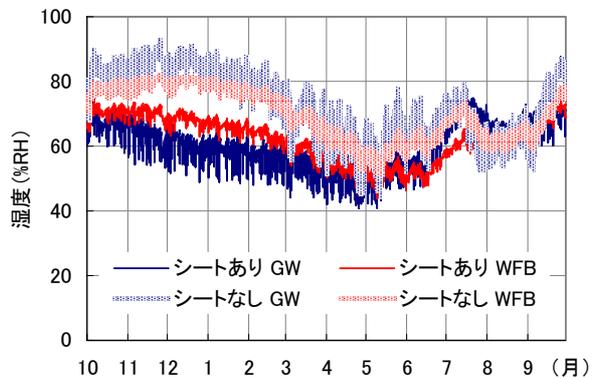


図-8 断熱材屋外側の相対湿度変化（長野：III地区）

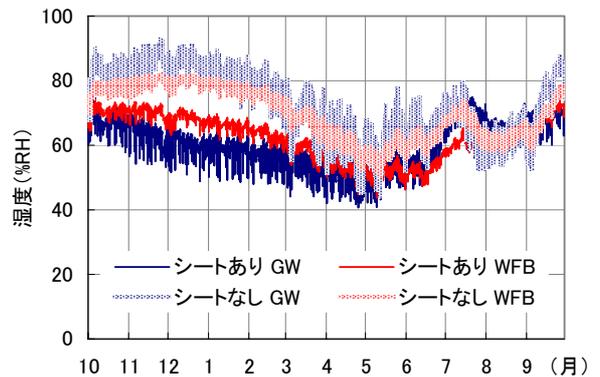


図-9 断熱材屋外側の相対湿度変化（長野：III地区）

一方、宮崎市では、グラスウールの場合には夏季に80%RH付近に達していたシート屋外側の相対湿度が、木質系断熱材の場合は80%RH以下に維持された。那覇市、東京都においても木質系断熱材の方が低い湿度であった。これは冬季結露の場合と逆に、壁内に入ってくる夏の湿った外気が木質系断熱材で吸湿されるため、シートに達する湿気の量が少なくなると考えられる。実際のところ那覇市、宮崎市のようなV地区、VI地区で寒冷地仕様の建物を建てることはほとんどないと考えられる。しかし、今回解析対象とした新潟市、金沢市、東京都では同じIV地区でありながら異なる壁内湿気分布となるような場合がある。したがって、気象条件に工法がふさわしいかどうかをシミュレーションすることが重要である。また、様々な断熱材により、同じ断熱性能でも湿気に関する物性値により、湿気性状が異なるため事前に解析することで湿気の害を回避し、工法を選択肢を増やすことが可能となるであろう。

3. 結論

本研究では木造建物における断熱材の種類及び防湿シートの有無が、壁体内湿度性状に与える影響を明らかにすることを目的とし、非定常熱湿気同時移動解析を実施し、以下の結論を得た。

- 1) I、II、III地区及び、IV地区のうち新潟市、金沢市の寒冷地ではシートを設置することにより、断熱材屋外側が冬季に高湿度になるのを防ぎ、断熱材を住宅用グラスウールから木質繊維系に変えると冬季の湿度がひくくなる傾向が認められた。
- 2) 那覇市、宮崎市では、防湿シートを設置するとその屋外側で夏季に高湿度となるが、木質系にすると少し湿度が低くなった。

謝辞

本研究は財団法人トステム建材産業振興財団助成(2006年度)を受け実施した。また、研究遂行にあたりフラウンホーファー建築物理研究所ダニエル・ツィルケルバッハ氏、田中啓輔氏、田中絵梨氏のご協力を得た。心より謝意を表する。

参考文献

- 1) ドイツ工業規格 DIN4108-3
- 2) 柚本玲, 堀内正純, 田中辰明: 熱水分移動シミュレーション WUFI を用いた「室内温湿度条件が壁体内湿度性状に及ぼす影響」の検討: 平成 17 年度室内環境学会・研究発表会講演集: (2005/11)
- 3) 柚本玲, 堀内正純, 田中辰明: 木造住宅における防湿シートの熱湿気性状に関する非定常シミュレーション: 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 (2006/9) p. 447-450
- 4) 柚本玲, 田中辰明: 木造住宅における防湿シートの熱湿気性状に関する非定常解析: 日本家政学会第 59 回大会研究発表要旨集 (2007/5) p. 224-224
- 5) 柚本玲, 堀内正純, 田中辰明: 木造住宅における防湿シートの熱湿気性状に関する非定常解析: 第 25 回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集 (2007/4) p. 97-99
- 6) 住宅に係るエネルギーの使用の合理化に関する建築主の判断と基準, 同設計及び施工の指針, (1999/3)
- 7) 柚本玲: 非定常熱湿気同時移動解析プログラム: WUFI(ヴェーフィ)について; 建材フォーラム; No.362 (2006) p.13-p.15
- 8) H.M. Kuenzel; Aussen dampfdicht, vollgedaemmt? Die rechnerische Simulation gibt Hinweise zu dem Feuchteverhalten aussen dampfdichter Steildaecher; bauen mit holz; (1998)
- 9) 拡張アメダス気象データ; 日本建築学会編

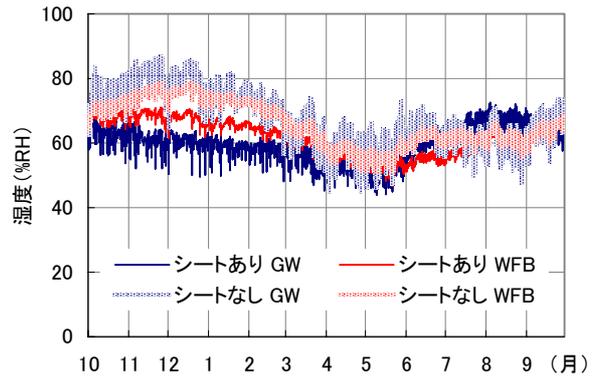


図-10 断熱材屋外側の相対湿度変化(新潟:IV地区)

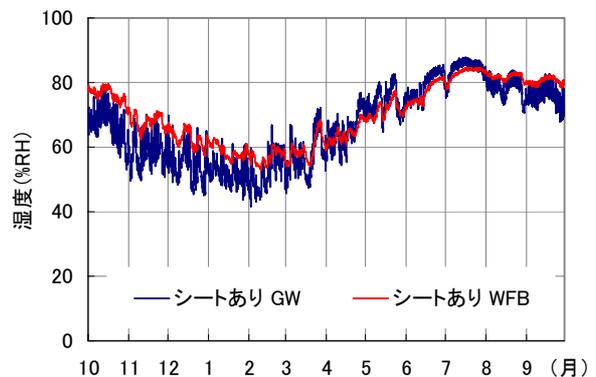


図-11 防湿シート屋外側の相対湿度変化(那覇:VI地区)

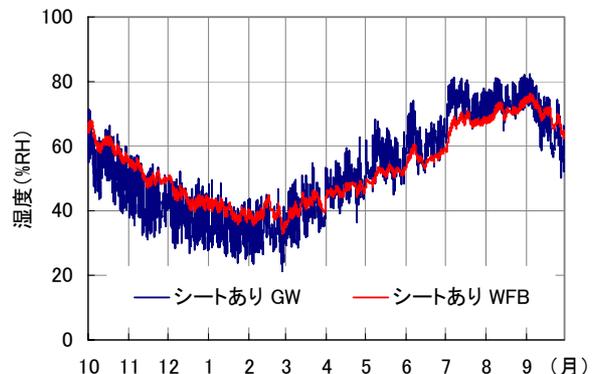


図-12 防湿シート屋外側の相対湿度変化(宮崎:V地区)